

组网雷达跟踪系统的类结构设计*

郭 晶 汪 浩

(国防科技大学系统工程与数学系 长沙 410073)

摘 要 本文基于面向对象设计思想,建立了组网雷达跟踪系统的三种类,即: 1) 传感器/目标类; 2) 跟踪算法类; 3) 融合跟踪控制类,并在分布式 Client/Server 计算机系统的网络计算平台上开发了组网雷达跟踪软件系统。该系统可实时、有效地跟踪飞行目标;在恶劣的环境下,具有扩充、重建和重组能力,保证了目标跟踪精度的高质量。

关键词 组网雷达、多目标跟踪、面向对象设计

分类号 TN 953.7

A Class Structure Design for Netted-Radar Tracking System

Guo Jing Wang Hao

(Department of Systems Engineering and Mathematics, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract In this paper, three kinds of the rapid prototyping of netted-radar system, an object-oriented design are constructed. The first is a sensor/target class which is more easily extensible than many types of radars and targets. The second is a tracking algorithm class which allows a series of tracking algorithms to be used. The third is a fusion tracking-control display class that allows easy access to many of the performance measures for radars and evaluation and debugging of the tracking algorithms. At the same time, netted-radar tracking prototyping system has been developed on computer network platform of distributed Client/Server system. The prototyping system can efficiently track multiple-aircrafts in real time, and attain strict tracking accuracy. Furthermore the prototyping system allows achievement of some growing, reconstructing and reconfiguration capabilities in case of failure of one or more of the radars.

Key words netted-radar, multiple-target tracking, object-oriented design

随着雷达技术的不断发展,组网雷达是近年来研究发展很快的一种雷达系统。其任务

* 1996 年 9 月 10 日收稿

是: 将网内的各种型号雷达提供的各种目标数据有效地组合起来, 准确、实时地获取飞行目标的位置、速度等信息, 并对周围空情作出高质量的可靠判断, 如图 1 所示。即使环境发生变化, 系统的部分设备产生技术故障或损坏的条件下, 也仍能保证对目标跟踪精度和空情判断的高质量。与单雷达系统相比, 组网雷达跟踪的主要优点为:

- 1) 与单雷达的覆盖范围相比, 具有在更大区域范围内搜索和跟踪目标的能力;
- 2) 由于具有更大的数据率, 较之单部雷达能更精密地估计航迹参数;
- 3) 由于站址不同和各种型号雷达的特性不同, 提高了抗杂波或抗干扰或二者兼有的能力。

然而, 组网雷达跟踪还存在着一些问题, 阻碍充分利用上述优点:

- 1) 在重迭区域内, 几部雷达具有不同的精度和扫描周期, 不同步地扫描该空域, 因此, 同一目标的数据会有不同的精度和数据率, 所以必需相应地修改单雷达跟踪算法;
- 2) 必须确保各个雷达站坐标的精确信息, 并调准各雷达提供的角度观测量, 以实现同一目标数据的空间迭合。

为了解决组网雷达跟踪系统中存在的一系列难题, 本文利用面向对象技术, 在 Client/Server 计算机系统的网络计算平台上, 设计、建立了以类为基本构造单元的组网雷达跟踪软件系统。其目的是, 用较小的代价、较快的速度生成人们对需求和系统性能进行审定的软件系统, 使我们通过实践获得关于系统将如何工作及其跟踪性能的具体概念, 即是对现实组网雷达跟踪系统的近似模拟。

1 组网雷达跟踪系统的系统结构和功能

组网雷达跟踪软件系统是一个建立在 Client/Server 计算机网络计算平台上用于模拟、分析复杂的组网雷达跟踪系统(包括雷达传感器和雷达数据处理功能)的软件工程系统。该系统主要包含三个模块, 如图 1 所示。这些模块通过总控菜单系统松散地集成在一起。下面对每个模块作一简要的介绍。

1) 目标/雷达数据仿真模块

该模块主要用于复制具有不同参数和轨迹的大量目标的运动, 以及在自然干扰和人为干扰的影响下, 产生空域和时域的雷达观测数据流(包括目标的运动参数及特征信息), 并对雷达传感器的数目、类型、部署及其工作特性作出规定。

2) 雷达跟踪子系统模块

该模块主要用于模拟雷达跟踪子系统的的目标数据处理算法, 以便根据雷达传感器提供的目标运动量测和目标特征信息, 准确、实时地估计出目标的航迹。

3) 融合跟踪控制中心模块

本软件系统是传感器异步驱动系统, 其数据来源有两类: 操作员的手控命令以及各个雷达跟踪子系统提供的目标航迹报告。因此, 该模块的主要任务包括: i) 将各个跟踪雷达提供的目标航迹报告送入数据融合处理中心进行时空校准、相关组合, 对每一个目标建立一条多雷达航迹, 并存储在系统航迹存储器中; ii) 提供一组易于理解的中文化多窗口界面, 其中包括跟踪显示窗、软件对话框等, 以便我们对各种跟踪算法的跟踪误差进行比较, 显示组网雷达的融合跟踪性能及目标环境观测图; iii) 在目标跟踪过程中加入人工干预,

实现人工起始航迹、终止航迹、选择目标跟踪,并且保证雷达跟踪状态切换时的跟踪连续性及其的协调控制。

2 组网雷达跟踪系统的类结构设计

面向对象的设计范式采用建模的特点。人们通过把问题域作为一系列相互作用的实体构造出基于软件模块以及模块间相互关系的应用程序的基本结构。由面向对象的设计范式产生的实体描述即为类。一个类实质上定义的是一种对象类型,它描述了属于该类型的所有对象的性质。一般来讲,一个类不做实际工作,因为它不是一个具体的实体,而是构造具体例子(实例)的模板,真正工作的是类的实例。因此,类是对一组对象的抽象,它将该种对象所具有的共同特征(包括操作特性和存储特征)集中起来,由该种对象所共享。在系统构成上,则形成了一个具有特定功能的模型。

本文对一个类定义了以下内容: 类: $:= < ID, INH, DD, OI, ITF >$, 其中, ID 为类的标识或类名; INH 为类的继承性描述; DD 为数据结构(域)描述; OI 为操作集合(方法)描述; ITF 为对外接口。

继承是类的特性,即子类可以继承父类的特征。可用一个偏序关系定义继承的特征,即 $INH = (c, > =)$, 其中, c 为处于继承链上所有的类, $> =$ 表示继承关系。继承是有传递性的,即

$$\begin{aligned} & \text{IF } (c2 > = c1) \ \& \ (c3 > = c2) \\ & \text{THEN } \ c3 > = c1 \end{aligned}$$

因此,属于某个类的对象除具有该类所描述的性质外,还具有类等级中该类上层所有类描述的全部性质。

本文针对上节介绍的有关组网雷达跟踪系统的三个模型,利用面向对象技术,建立了该系统的三个类,即:(i) 目标/传感器类;(ii) 跟踪算法类;(iii) 融合跟踪控制类。它们提供了一些规则,构成制作具体实例的模板,以下简要介绍。

1) 目标/传感器类

图 2 给出了组网雷达跟踪软件系统的目标/传感器类层次表,在每个类及子类的名字下面都注入了相关的方法。图 3 显示了与目标/传感器类相关的域。由图可知,通用传感器类不能被实例化,它只是一种概念和结构,但其公共方法和域可用于传感器的初始化和特征化;传感器类是通用传感器类的唯一子类;具体的雷达观测数据流是由传感器类的子类仿真传感器类产生。

2) 跟踪算法类

图 5 给出了跟踪算法类的类层次表,其方法和域均列在类名下。本文从实际工程应用的角度出发,采用动态方式建立跟踪算法类的每一个实例对象,这样做的目的:(i) 便于将单雷达系统与组网雷达系统的跟踪性能进行比较;(ii) 在环境发生变化,系统中有若干部雷达不能正常工作时,验证组网雷达跟踪系统的跟踪性能的稳定性、可靠性。

3) 融合跟踪控制类

图 6 给出了融合跟踪控制类的类层次结构。由于在组网雷达跟踪系统中,对于整个跟踪过程可以进行人工干预,因此融合跟踪控制类封装了操作人员对目标/雷达仿真数据和

跟踪算法的控制,即可决定:哪个传感器在显示器上显示目标的有关报告及显示的时间,哪个跟踪器的输出被送到显示器上显示,等等;同时,也封装了在显示器上对各个窗口的管理和控制。

综上所述,本文建立的组网雷达跟踪软件系统具有以下技术特点:

- i) 以类作为系统构造单元,具有高度的可重用性,从而系统中的单元是久经考验的软件单元,保证了系统单元的可靠性;
- ii) 对象和类是具有封装功能的软件单元,其中的错误只限于类和对象本身,不会传播到系统其它位置,易于检错;
- iii) 具有系统的模块性,从外部看这个模块,只了解这个模块具有那些功能,至于这个模块的内部状态以及如何实现这些功能的细节都是‘隐藏’在模块的内部。同时,各个模块间的依赖性也很小,保证各个模块较为独立地为系统所用;
- iv) 基于面向对象技术的软件设计及开发方法容许我们对不清楚的问题暂时搁置,等到用户给出明确定义之后再设计,从而进一步保证了系统的可靠性。

3 软件系统的开发过程及仿真结果

以面向对象设计技术建立的软件系统需要以下支持: 1) 一个面向对象语言(本文采用 c^{++} 语言); 2) 可用于大多数程序并实现了标准对象的类层次结构; 3) 一个可以自动处理并能自行集成各类任务的环境(本文利用了 Windows 环境)。

在以上三个条件具备的基础上,本文按图 5 所示的过程建立了组网雷达跟踪软件系统。在仿真中,本文共设置了 3 个匀加速目标,其初始位置、初速度和加速度如表 1 所示。图 7 是一次成功地跟踪 3 个机动目标的情景,表 2 是 Monte-Carlo 实验记录结果。仿真次数为 50 次,当状态估计偏离真实航迹 0.5km 时,我们认为发生失跟情况。从仿真结果可以看到,对于跟踪机动目标而言,组网雷达系统的跟踪性能优于单部雷达的跟踪性能,而且随着杂波密度的增大,单部雷达的跟踪性能急剧下降,而组网雷达跟踪系统由于总数据率比较高而改善了跟踪系统的性能,并且保证了目标航迹的高精度及使目标航迹具有更长的航迹寿命。

表 1 交叉转弯机动目标初始运动状态设置

目标序号	初始位置(km)		初速(km/s)		加速度(km/s ²)	
	x0	y0	vx0	vy0	ax	ay
1	20	210	118	-0.5	-0.016	0.018
2	20	180	118	0.0	-0.016	0.0
3	20	150	118	0.5	-0.016	-0.018

表 2 机动目标跟踪的仿真结果

杂波密度 (个/km ² ·km)	失跟目标数目		跟踪成功率 %	
	单部雷达	组网雷达	单部雷达	组网雷达
0.00	1	2	99.3	98.6
0.01	5	3	96.7	98
0.02	12	5	92	96.7
0.03	20	7	86.7	95.3
0.04	31	10	79.3	93.3
0.05	39	15	74	90
0.06	57	23	57.3	84.7

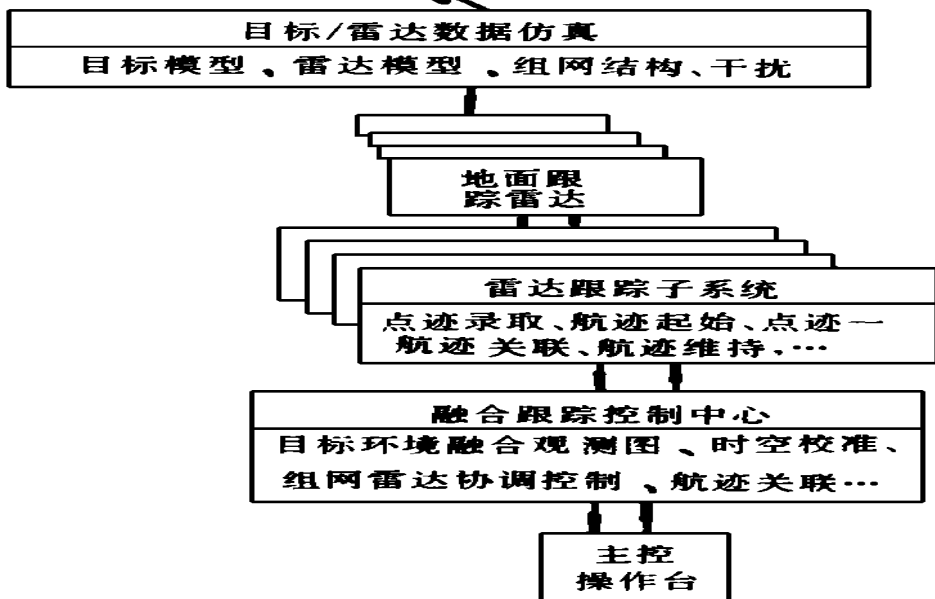


图1 组网雷达跟踪系统的功能总体结构

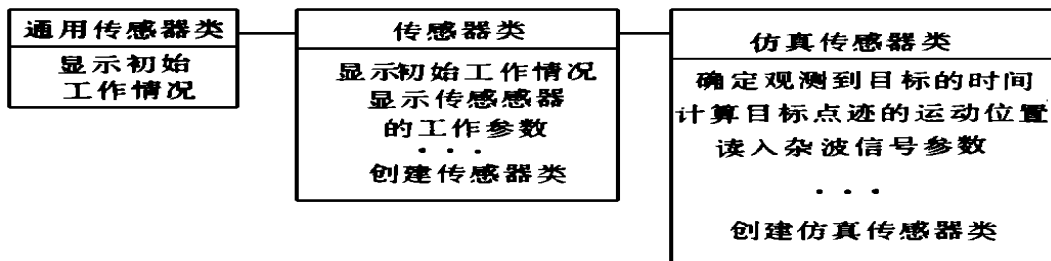


图2 传感器/目标类层次结构(方法)

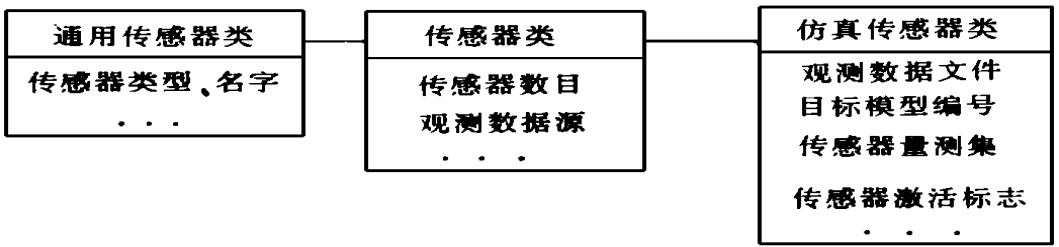


图3 传感器/目标类层次结构(域)

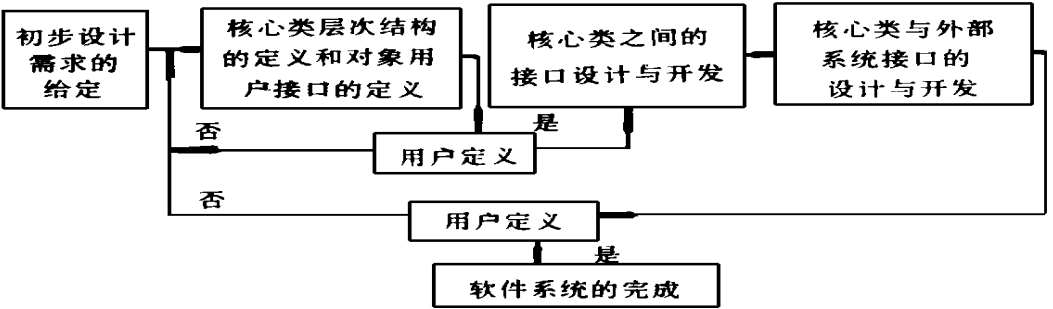


图4 基于面向对象的组网雷达软件系统的开发过程

4 结论

本文在组网雷达跟踪原型系统的结构设计中,建立起系统的三种模块,并在此基础上,利用面向对象设计思想,设计、建立了三种通用的类层次结构,其特点是:1)促进了组网雷达跟踪软件系统的快速开发;2)实现了目标跟踪的实时性、准确性;3)保证了系统的可扩展性、可维修性、可靠性和可控性。

这种将面向对象技术与组网雷达跟踪系统相结合的特点,为系统的工程化实现提供了有利的技术支持。

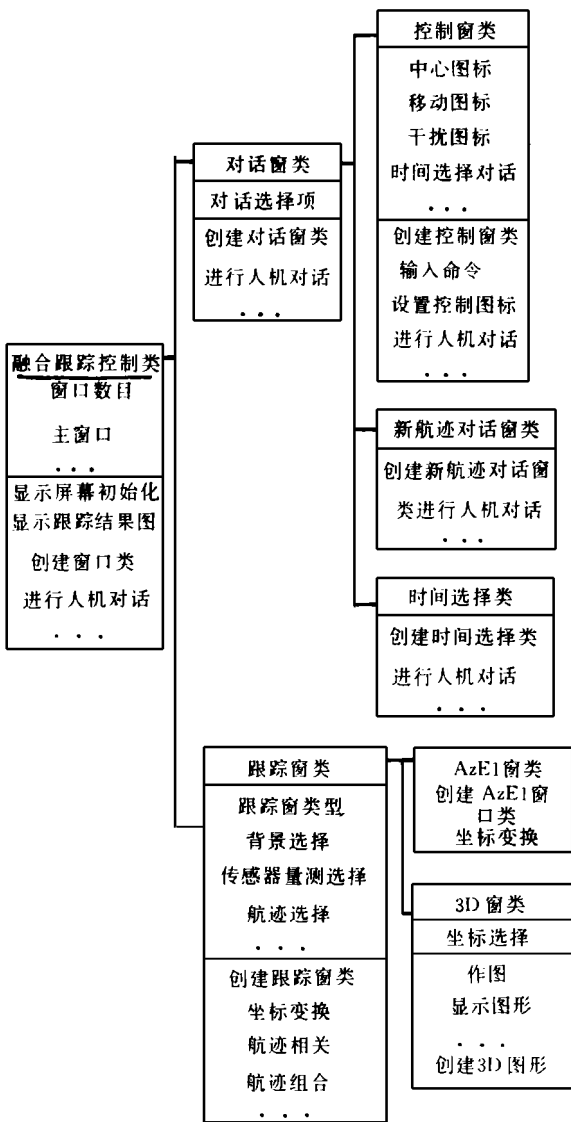


图6 融合跟踪控制的类层次结构(域和方法)

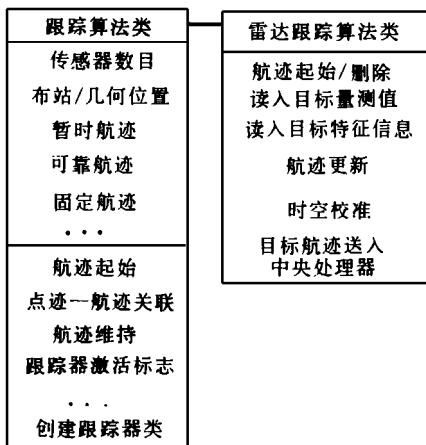


图5 跟踪算法的类层次结构(域和方法)

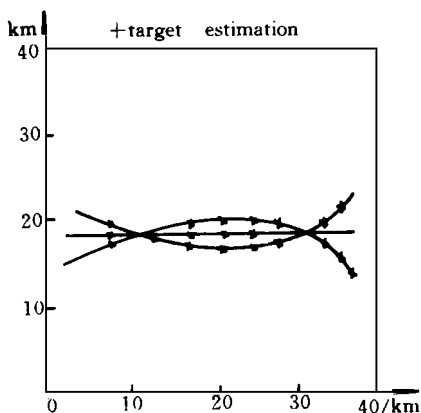


图7 机动目标跟踪图

参考文献

- 1 A. 费利那等. 雷达数据处理. 北京: 国防工业出版社
- 2 R.L. 米切尔等. 雷达系统模拟. 北京: 科学出版社
- 3 汪成为等. 面向对象分析、设计及应用. 北京: 国防工业出版社

(责任编辑 潘生)